

Análise de Desempenho na Rede Metropolitana de Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Norte: um dimensionamento aplicado a Telemedicina e a Telessaúde utilizando QoS baseado no padrão IEEE 802.1Q

Ronaldo Maia de Medeiros

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFRN (área de concentração: Engenharia de Computação) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Natal, RN, novembro de 2011.

Ronaldo Maia de Medeiros

**Análise de Desempenho na Rede Metropolitana de Saúde
da Universidade Federal do Rio Grande do Norte: um
dimensionamento aplicado a Telemedicina e a Telessaúde
utilizando QoS baseado no padrão IEEE 802.1Q**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim

Natal, RN, novembro de 2011.

Seção de Informação e Referência

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Medeiros, Ronaldo Maia de.

Análise de desempenho na rede metropolitana de saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Norte: um dimensionamento aplicado a telemedicina e a telessaúde utilizando QoS baseado no padrão IEEE 802.1Q. / Ronaldo Maia de Medeiros. – Natal, RN, 2011.

48 f; il.

Orientador: Ricardo Alessandro de Medeiros Valentim.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

1. Rede de computadores – Dissertação. 2. Rede universitária de Telemedicina – Dissertação. 3. Telessaúde – Dissertação. 4. Qualidade de serviço – Dissertação. 5. Rede metropolitana de saúde – Dissertação. I. Valentim, Ricardo Alessandro de Medeiros. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 681.3

Ronaldo Maia de Medeiros

**Análise de Desempenho na Rede Metropolitana de Saúde
da Universidade Federal do Rio Grande do Norte: um
dimensionamento aplicado a Telemedicina e a Telessaúde
utilizando QoS baseado no padrão IEEE 802.1Q**

Projeto de Dissertação de Mestrado _____ em 14 de novembro de 2011 pela
banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim (Orientador).....DEB/UFRN

Prof. Dr. Filipe de Oliveira Quintaes (Avaliador Externo).....DIAC/IFRN

Prof. Dr. Aquiles Medeiros Filgueira Burlamaqui (Avaliador Interno).....ECT/UFRN

*Dedico este trabalho ao meu pai (in memoriam),
pelo incentivo, dedicação e carinho,
sendo, para mim, o exemplo de pai a ser seguido.*

Agradecimentos

Com certeza, foram muitas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente.

Ao meu orientador, o professor Ricardo Valentim, pela paciência, confiança e atenção que sempre foram concedidas e, principalmente, por ter me ajudado de forma substancial na elaboração e conclusão deste trabalho.

Ao superintendente de Informática da UFRN, o professor Aluizio Ferreira, pelo espaço que sempre me foi concedido nesta Superintendência, sendo fundamental para a realização dos experimentos. Estendo esta gratidão a toda equipe de Redes, pela colaboração na configuração dos dispositivos usados nos testes, além da equipe de Informática do Hospital Universitário Onofre Lopes.

A toda minha família, amigos e colegas do IFRN pela torcida e pelo incentivo.

Aos meus pais e meu irmão, pelo incentivo e compreensão nos momentos em que precisei estar ausente.

À minha esposa, Karina, que já participa das lutas desde antes da minha graduação, e ao nosso filho, João Vitor, que, mesmo sem saber, é atualmente o maior incentivador de crescimento profissional, e principalmente, pessoal.

A DEUS.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu MUITO OBRIGADO!

Resumo

É notório o avanço das redes de computadores nas últimas décadas, seja em relação às taxas de transmissão, ao número de dispositivos interconectados ou mesmo às aplicações existentes. Em paralelo, percebemos também este avanço nos diversos segmentos da área de automação, tais como: industrial, comercial e residencial. Em uma de suas ramificações, encontram-se as redes hospitalares, que podem fazer uso de uma gama de serviços, que vão desde o simples cadastro de pacientes até uma cirurgia feita por um robô sob a supervisão de um médico especialista. No contexto dos dois universos, aparecem as aplicações em Telemedicina e Telessaúde, que trabalham com a transferência, em tempo real, de imagens de alta resolução, som, vídeo e dados de pacientes. Surge então um problema, visto que as redes de computadores, inicialmente criadas para a transferência de dados menos complexos, está sendo agora usada por um serviço que envolve altas taxas de transferência e apresenta requisitos em relação à qualidade do serviço (QoS) oferecido pela rede. Desta forma, este trabalho realiza uma análise e comparação de desempenho de uma rede quando submetida a esse tipo de aplicação, para duas situações distintas: a primeira sem o uso de políticas de QoS, e a segunda com a aplicação de tais políticas, usando como cenário para os testes, a Rede Metropolitana de Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Palavras Chaves: Rede Universitária de Telemedicina (RUTE), Telemedicina, Telessaúde, Análise de Desempenho, qualidade de serviço (QoS), Rede Metropolitana de Saúde.

Abstract

It's notorious the advance of computer networks in recent decades, whether in relation to transmission rates, the number of interconnected devices or the existing applications. In parallel, it's also visible this progress in various sectors of the automation, such as: industrial, commercial and residential. In one of its branches, we find the hospital networks, which can make the use of a range of services, ranging from the simple registration of patients to a surgery by a robot under the supervision of a physician. In the context of both worlds, appear the applications in Telemedicine and Telehealth, which work with the transfer in real time of high resolution images, sound, video and patient data. Then comes a problem, since the computer networks, originally developed for the transfer of less complex data, is now being used by a service that involves high transfer rates and needs requirements for quality of service (QoS) offered by the network . Thus, this work aims to do the analysis and comparison of performance of a network when subjected to this type of application, for two different situations: the first without the use of QoS policies, and the second with the application of such policies, using as scenario for testing, the Metropolitan Health Network of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN).

Keywords: Telemedicine University Network (RUTE), Telemedicine, Telehealth, Performance Analysis, quality of service (QoS), Metropolitan Health Network.

Lista de Figuras

Figura 4.1 – Diagrama geral da rede UFRN.....	32
Figura 4.2 – Topologia da Rede UFRN.....	34
Figura 4.3 – Ambiente experimental para análise de desempenho	35
Figura 4.4 – <i>Jitter</i> e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 2 máquinas, sem QoS na rede	36
Figura 4.5 – <i>Jitter</i> e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 4 máquinas, sem QoS na rede	37
Figura 4.6 – <i>Jitter</i> e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 8 máquinas, sem QoS na rede	37
Figura 4.7 – <i>Jitter</i> e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 2 máquinas, com QoS na rede.....	38
Figura 4.8 – <i>Jitter</i> e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 4 máquinas, com QoS na rede.....	38
Figura 4.9 – <i>Jitter</i> e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 8 máquinas, com QoS na rede.....	39
Figura A.1 – Tráfego no switch da SInfo - Testes sem QoS	46
Figura A.2 – Tráfego no switch da Reitoria - Testes sem QoS	46
Figura A.3 – Tráfego no switch da Enfermagem - Testes sem QoS	47
Figura A.4 – Tráfego no switch do CCS - Testes sem QoS	47
Figura A.5 – Tráfego no switch da SInfo - Testes com QoS	47
Figura A.6 – Tráfego no switch da Reitoria - Testes com QoS	48
Figura A.7 – Tráfego no switch da Enfermagem - Testes com QoS.....	48
Figura A.8 – Tráfego no switch do CCS - Testes com QoS.....	48

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Resumo dos tráfegos das redes internas da UFRN.....	15
Tabela 2.1 – Exigências das aplicações em termos de qualidade de serviço	20
Tabela 4.1 – Comparativo entre os resultados com e sem QoS	40

Lista de Abreviaturas e Siglas

ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
CC	Centro de Convivência
CCS	Centro de Ciências da Saúde
CFM	Conselho Federal de Medicina
CFTV	Circuito Fechado de Televisão
CLP	Controlador Lógico Programável
DiffServ	<i>Differentiated Services</i>
DOL	Departamento de Oceanografia e Limnologia
DWDM	<i>Dense Wevelength Division Multiplexing</i>
EAJ	Escola Agrícola de Jundiá
FIFO	<i>First In, First Out</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
HOSPED	Hospital de Pediatria
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
HUAB	Hospital Universitário Ana Bezerra
HUOL	Hospital Onofre Lopes
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IEEE	<i>Institute of Electric and Electronic Engineers</i>
IntServ	<i>Integrated Services</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LP	Linha Privada
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MEC	Ministério da Educação
MEJC	Maternidade Escola Januário Cicco
MPLS	<i>Multi Protocol Label Switching</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i>

PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PoP	<i>Point of Presence</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RADIUS	<i>Remote Authentication Dial In User Service</i>
Redecomep	Redes Comunitárias Metropolitanas de Ensino e Pesquisa
RM-OSI	<i>Reference Model for Open Systems Interconnection</i>
RNP	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa
RUTE	Rede Universitária de Telemedicina
SInfo	Superintendência de Informática
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UDP	<i>Unit Datagram Protocol</i>
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
VLAN ID	<i>Virtual Local Area Network Identifier</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Objetivos Específicos	15
1.2	Metodologia.....	15
1.3	Organização do Trabalho	17
2	Qualidade de Serviço	18
2.1	Conceitos Básicos de Qualidade de Serviço	18
2.2	QoS e a Pilha de Protocolos TCP/IP	21
3	Automação Hospitalar.....	23
3.1	Telemedicina e Telessaúde.....	25
3.1.1	Projeto RUTE	26
3.1.2	Estado da Arte	28
4	Análise de Desempenho na Rede de Saúde da UFRN	31
4.1	A Rede UFRN	31
4.2	Projeto Experimental	34
4.2.1	Testes sem QoS	36
4.2.2	Testes com QoS	37
4.3	Análise comparativa dos resultados	39
5	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	41
5.1	Trabalhos Futuros	42
	Referências Bibliográficas	43
	Apendice A: Gráficos do tráfego gerado durante os experimentos.....	46

Capítulo 1

Introdução

A comunicação é uma das maiores necessidades da sociedade humana desde os primórdios de sua existência. Conforme as populações se espalhavam, a comunicação a longa distância se tornava cada vez mais uma necessidade e um desafio. Formas de comunicação através de sinais de fumaça ou pombos-correio foram as maneiras encontradas por nossos ancestrais para tentar aproximar as comunidades. A conjunção destas duas tecnologias - comunicação e processamento de informações - veio revolucionar o mundo em que vivemos, abrindo as fronteiras com novas formas de comunicação, e permitindo uma maior eficácia dos sistemas computacionais (SOARES et al., 1995). Nos dias atuais, as redes de computadores estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano, tendo como aliados o desenvolvimento tecnológico, através da contínua redução do custo e no tamanho do hardware, acompanhada do aumento da capacidade computacional, além de interfaces cada vez mais acessíveis ao usuário.

Partindo para outra área, a de Saúde, podemos citar inúmeras aplicações que podem ser usadas na automação de muitos seus processos e que envolve a comunicação em rede. Algumas são voltadas a questões administrativas, tais como: prontuário eletrônico, marcação de consultas, controle de farmácia, internamento e laboratoriais. Outras, mais complexas, estão relacionadas com o monitoramento, diagnóstico e até mesmo procedimentos cirúrgicos.

Neste contexto, as tecnologias de telecomunicações estão sendo usadas para mudar as relações na área da Saúde, permitindo, por exemplo, a assistência médica a pacientes remotos e facilitando a troca de informações entre generalistas e especialistas. Existe também um conjunto possibilidades que pode ser aplicado de forma a otimizar o uso da tecnologia. Por outro lado, existem ainda muitas questões não resolvidas sobre eficácia, custos, segurança, privacidade, ética, gestão de risco, retorno sobre o investimento, entre outras (MAHEU et al., 2000).

Na intersecção entre as redes de computadores e as redes de Saúde, aparece uma área que vem se consolidando a cada dia em todo o mundo. São as aplicações em Telemedicina e

Telessaúde. Trata-se da transferência de imagens de alta resolução, som, vídeo ao vivo e dados de pacientes entre dois ou mais locais, sendo geralmente on-line ou em tempo real, e utilizadas por diversas especialidades médicas. Ações na área vêm se desenvolvendo no mundo desde a década de 60, quando humanos iniciaram a voar no espaço e seus parâmetros fisiológicos foram transmitidos à Terra. Avanços e investimentos em comunicação via satélite permitiram os primeiros desenvolvimentos em telemedicina (RUTE, 2006).

Apesar de seus primeiros relatos terem mais de cinquenta anos, a área de Telemedicina e Telessaúde encontra-se em pleno desenvolvimento, aparecendo a cada dia, novas demandas que vão requerer mais dos recursos tecnológicos existentes. É o caso, por exemplo, de arquivos de imagens e vídeos em alta resolução, algumas até em três dimensões. Tais aplicações demandam, não apenas de uma boa infraestrutura de comunicação, como também de altíssimo grau de processamento nos dispositivos envolvidos na codificação e decodificação de tais imagens. Aparece então um problema, visto que as redes de computadores, inicialmente criadas para a transferência de dados pouco volumosos, está sendo agora usada por diferentes tipos de aplicação, que necessitam de diferentes tipos de requisitos para que funcionem de forma satisfatória. Temos então que uma rede de computadores deverá oferecer certa Qualidade de Serviço (QoS) às aplicações que nela trafegam, podendo estar adequado ou não, aos seus pré-requisitos mínimos de bom funcionamento de cada aplicação em particular.

Neste contexto, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, através de seu complexo de Saúde (Hospitais e suas Faculdades de Medicina, Enfermagem, Fisioterapia e Odontologia) está, gradativamente, fazendo uso de aplicações em Telemedicina e em Telessaúde. Esta nova demanda deverá gerar um grande tráfego, que pode prejudicar as aplicações usais da UFRN e vice versa, visto que ambas estão compartilhando, fisicamente, a mesma rede. Com o intuito de estudar esse problema, a presente dissertação de mestrado tem como objeto, realizar uma análise de desempenho da rede que está imersa neste complexo hospitalar, ou de saúde que permeia a rede metropolitana da UFRN. Para tanto, realizando medições nessa rede sem QoS quando submetido a uma sobrecarga de tráfego, e comparando tais resultados após a aplicação de técnicas (também chamadas políticas) para o provimento de QoS, sendo portanto estabelecidos critérios de priorização de tráfego para aplicações de Telemedicina e Telessaúde. Deste modo, contribuindo para uma convivência harmoniosa entre os sistemas de Telemedicina e Telessaúde e as demais aplicações existentes na rede da metropolitana da UFRN.

1.1 Objetivos Específicos

As metas previstas para alcançar o objetivo desse trabalho de dissertação de mestrado, foram as seguintes:

- Realizar estudo do tráfego atual da rede da UFRN;
- Mapear as redes de Saúde da UFRN;
- Definir casos de testes para realizar a análise de desempenho do objeto da dissertação;
- Definir e aplicar políticas de QoS para a rede metropolitana da UFRN de Telemedicina e Telessaúde, de forma a garantir a qualidade das aplicações fim-a-fim;
- Comparar os resultados obtidos no processo de análise desempenho, considerando a rede sem e com políticas de QoS.

1.2 Metodologia

Inicialmente foram realizados estudos sobre os métodos de Qualidade de Serviço, Telemedicina e Telessaúde, seguido por procedimentos experimentais na própria rede interna da UFRN. Tais procedimentos tinham como objetivo identificar o tráfego atual da rede e observar quais eram os momentos de maior fluxo de dados, através do monitoramento prévio da banda passante utilizada na rede de Saúde da UFRN. Foram feitas então consultas SNMP (*Simple Network Management Protocol*) à determinadas portas dos switches do Centro de Ciências da Saúde (CCS) e do Departamento de Enfermagem, através do *cacti* (ferramenta web *open source*). No estudo, foram utilizadas cinco sub-redes do Complexo de Saúde da UFRN. A Tabela 1.1 apresenta, para cada uma dessas sub-redes, os tráfegos médio e máximo de entrada/saída.

Tabela 1.1 – Resumo dos tráfegos das sub-redes de Saúde da UFRN

Local	Tráfego (bps): 27/09 à 01/10				Tráfego (bps): 04/10 à 08/10			
	Méd In	Máx In	Méd Out	Máx Out	Méd In	Máx In	Méd Out	Máx Out
HUOL	900,93 K	34,67 M	2,00 M	9,53 M	5,21 M	60,30 M	1,98 M	8,16 M
MEJC	42,43 K	585,36 K	314,01 K	2,20 M	63,54 K	344,00 K	1,10 M	6,46 M
HOSPED	54,33 K	492,24 K	723,28 K	6,15 M	76,71 K	2,43 M	1,11 M	25,22 M
Enfermagem	96,51 K	822,36 K	929,50 K	5,98 M	89,16 K	900,12 K	933,26 K	7,96 M
Odontologia	86,61 K	960,67 K	604,61 K	4,82 M	66,50 K	684,16 K	459,09 K	3,23 M

A ideia era que os experimentos fossem realizados em horários de maior uso da rede, de forma a medir o desempenho para os casos onde o fluxo de dados foi considerado crítico - maior consumo de largura de banda da rede. Com base nos estudos preliminares, foram observados dois pontos principais que nortearam a metodologia aplicada aos experimentos:

1. O horário de maior utilização de banda é nos dias de semana (segunda à sexta)¹, das 7:00 às 19:00, apresentando médias que variaram de 42,43 Kbps (MEJC) a 5,21 Mbps (HUOL), com um máximo de 60,30 Mbps de entrada (HUOL) e 25,22 Mbps de saída (HOSPED);
2. Mesmo com picos de 60,30 e 25,22 Mbps, esta utilização pode ser considerada baixa para a realidade atual da rede UFRN, que possui um núcleo principal que trafega dados a 10 Gbps, e derivações a 1 Gbps (como será apresentado no Capítulo 4). Todavia, a não aplicação de políticas de QoS pode gerar uma depreciação da qualidade das aplicações, sobretudo para aquelas que são muito sensíveis a variação do atraso (*jitter*), isso devido aos problemas de enfileiramento gerados no *switches*. Uma vez que neste caso poderá ocorrer um bom desempenho médio, mas não há garantias de baixa variação no atraso, fator preponderante para aplicações de Telemedicina e Telessaúde.

Por estes motivos, os experimentos foram realizados respeitando-se os horários citados anteriormente. Além disso, de forma a fazer um uso maior da banda disponível (supondo novas demandas de aplicações de áudio, vídeo e dados, além de uma crescente expansão física da rede em relação ao número de dispositivos conectados), foi gerado também um tráfego *web* adicional controlado (através de programas geradores de carga), de forma a simular essa futura demanda, além de tornar possível a quantificação da influência deste tráfego sobre as aplicações de telemedicina, e vice-versa.

Neste contexto, os testes foram feitos utilizando a configuração original dos dispositivos (*switches*) da rede UFRN, ou seja, sem a definição e aplicação de políticas de QoS, e, em seguida, com o uso de tais políticas. Em ambos os casos, foram medidos parâmetros como atraso, taxa de erros, vazão e *jitter* (serão explicados na seção 2.1), para que possa ser feito um comparativo de desempenho, que será melhor visualizado através da apresentação de gráficos.

¹ Vale salientar que, normalmente, aulas e demais atividades na UFRN não ocorrem nos finais de semana.

1.3 Organização do Trabalho

O restante da dissertação está organizada da seguinte forma:

- O capítulo 2 apresenta um estudo sobre os principais conceitos relacionados a Qualidade de Serviços (QoS);
- O capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica dos conceitos de Telemedicina e Telessaúde, que é contextualizada com um exemplo prático de sua aplicação em nosso país: o projeto RUTE (Rede Universitária de Telemedicina). O capítulo finaliza com o estado da arte do objeto de estudo;
- O capítulo 4 inicia com uma breve apresentação da Rede UFRN (topologia, tecnologias e serviços utilizados). Em seguida, são descritos os experimentos realizados, finalizando com a análise de desempenho antes e depois da aplicação das regras de QoS, onde serão apresentados e comparados os resultados obtidos;
- O capítulo 5 apresenta as conclusões e possíveis trabalhos para o futuro.

Capítulo 2

Qualidade de Serviço

Tradicionalmente, eram utilizadas redes distintas para cada tipo de serviço, de forma a atender suas exigências. Podemos citar como exemplos as redes de telegrafia/telex, telefonia, dados e TV a cabo. Assim, eram utilizadas diferentes tecnologias para transmissão, sendo as mais importantes as de telefonia e de dados (FIALHO, 2004).

A rede de telefonia é baseada na comutação de circuitos. Isto quer dizer que antes do início da comunicação, deverá ser estabelecido um circuito fim-a-fim. Este circuito pode ser físico (analógico), ou um canal dentro de um quadro (digital), chamado circuito virtual. Devido a sua grande capilaridade, também foi usada para transmitir dados. Um problema no uso destas redes é o custo elevado. Por outro lado, a rede de dados é baseada na comutação de pacotes, podendo ser feito uso de datagramas ou circuitos virtuais, sendo totalmente digital nos dias de hoje.

Com a integração das diversas tecnologias de forma a transmitir os vários tipos de mídia, surge a necessidade de suporte aos vários tipos de aplicações para que estas sejam providas adequadamente. Nesse contexto, surge então a ideia de qualidade de serviço (QoS), tema deste objeto de estudo nessa dissertação de mestrado, cujo propósito é aferir o comportamento da rede de saúde quando submetido a políticas de QoS no nível da camada de enlace. Deste modo, estabelecendo garantias do bom funcionamento de aplicações de Telemedicina e Telessaúde na rede metropolitana do complexo de saúde da UFRN, mesmo quando submetida a tráfego intenso.

2.1 Conceitos Básicos de Qualidade de Serviço

Uma aplicação sempre recebe alguma qualidade de serviço da rede, que pode não ser adequada as necessidades exigidas por essa aplicação. Uma Rede baseada em Qualidade de Serviço (QoS) faz uso de uma coleção de técnicas que permitem às aplicações ou usuários a solicitação/recebimento de diferentes níveis de serviço pré-definidos, de forma a atender os requisitos dessas aplicações/usuários (FIALHO, 2004). Para se obter tal condicionamento,

pode ser necessário alterações em diversos elementos da rede, tais como estações, *gateways* de aplicação, roteadores e *switches*. Vários parâmetros são usados para se definir as exigências das aplicações. Os mais comumente utilizados são (MARTINS, 2000):

- *Largura de banda (vazão)*: é a capacidade máxima de transmissão de *bits* através de um determinado meio físico em relação ao tempo. É o parâmetro mais básico de QoS, visto que é necessário para a operação adequada de qualquer aplicação. Por isso, este parâmetro normalmente é considerado durante a fase de projeto e implantação da rede;
- *Atraso (latência)*: o termo “latência” é mais utilizado para equipamentos e o termo “atraso” é mais aplicado para transmissões de dados (exemplos: atrasos de transmissão, atrasos de propagação, etc.). De maneira geral, a latência da rede pode ser entendida como o somatório dos atrasos impostos pela rede e equipamentos utilizados na comunicação. Do ponto de vista da aplicação, a latência resulta em um tempo de resposta para a aplicação;
- *Jitter*: sob o ponto de vista de uma rede de computadores, o *jitter* pode ser entendido como a variação no tempo e na sequência de entrega dos pacotes devido à variação na latência (atrasos) da rede. Este parâmetro é importante para aplicações que dependem que os pacotes devem ser processados em períodos de tempo bem definidos. Este é o caso, por exemplo, de aplicações de tempo real, tais como Voz sobre IP (VoIP) e vídeo conferências. Por esse motivo, o *Jitter*, é um parâmetro considerado relevante para aplicações de Telemedicina e Telessaúde, pois há uma necessidade efetiva de comprimento de metas temporais, justamente, porque muitas aplicações deste segmento tem atributos de tempo real.
- *Confiabilidade (taxa de perdas e erros)*: as perdas de pacotes em redes IP ocorrem principalmente em função de fatores como o descarte de pacotes nos roteadores e *switch routers*, devido ao congestionamento de pacotes; e devido a erros ocorridos na camada de enlace durante o transporte dos mesmos. O que fazer em caso de perdas de pacotes é uma questão cuja solução é específica de cada aplicação em particular. Do ponto de vista da qualidade de serviço da rede a preocupação é normalmente no sentido de especificar e garantir limites razoáveis (taxas de perdas) que permitam uma operação adequada da aplicação.

Em relação aos critérios vistos anteriormente, as aplicações podem apresentar demandas bem diferentes. Como pode ser observado na Tabela 2.1, as quatro primeiras aplicações têm requisitos estritos de confiabilidade. Isso significa que estas aplicações exigem que nenhum *bit* poderá ser entregue de forma incorreta. Em geral, esse objetivo é alcançado calculando-se o total de verificação de cada pacote e conferindo-se o total de verificação no destino. Se o pacote for danificado em trânsito, ele não será confirmado e será retransmitido mais tarde. Essa estratégia proporciona alta confiabilidade. As quatro últimas aplicações (áudio/vídeo) podem tolerar erros, e assim nenhum total de verificação é calculado ou conferido (TANENBAUM, 2003).

Tabela 2.1 – Exigências das aplicações em termos de qualidade de serviço

Aplicação	Confiabilidade	Latência	Jitter	Largura de banda
Correio eletrônico	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Transferência de arquivos	Alta	Baixa	Baixa	Média
Acesso à Web	Alta	Média	Baixa	Média
Login Remoto	Alta	Média	Média	Baixa
Áudio por demanda	Baixa	Baixa	Alta	Média
Vídeo por demanda	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Telefonia	Baixa	Alta	Alta	Baixa
Videoconferência	Baixa	Alta	Alta	Alta

Fonte: Tanenbaum (2003)

Em termos de atraso, apenas as aplicações de tempo real, como telefonia e vídeo conferência, têm requisitos estritos em função desse parâmetro. Desta forma, um atraso, mesmo que pequeno, já é capaz de tornar uma conversa telefônica no mínimo, desconfortável para seus usuários, o mesmo se aplica também a aplicações de Telemedicina e Telessaúde. As aplicações interativas, tais como a navegação web e o *login* remoto apresentam-se um pouco menos sensíveis ao atraso que as aplicações de tempo real. Já as aplicações de áudio/vídeo sob demanda não apresentam nenhuma sensibilidade ao atraso, desde que todos os pacotes estejam uniformemente atrasados, ou seja, são extremamente sensíveis ao *jitter*. As aplicações de transferência de arquivos e correio eletrônico não apresentam sensibilidade nem ao atraso e nem ao *jitter*.

Por fim, as aplicações diferem em suas necessidades de largura de banda. Correio eletrônico, *login* remoto e até mesmo telefonia não necessitam de muita largura de banda. Por outro lado, todas as formas de vídeo exigem grande volume desse recurso.

2.2 QoS e a Pilha de Protocolos TCP/IP

A camada de rede no modelo referência OSI (RM-OSI) está relacionada à transferência de pacotes da origem para o destino. Chegar ao destino pode exigir vários saltos (*hops*) em roteadores intermediários ao longo do percurso. Essa função contrasta claramente com a função da camada de enlace dados, que tem o objetivo mais modesto de apenas mover quadros de uma extremidade de um fio até a outra. Portanto, a camada de rede é a camada mais baixa que lida com a transmissão fim a fim (TANENBAUM, 2003). Na camada de rede da pilha de protocolos TCP/IP, o IP (*Internet Protocol*) provê o transporte não confiável de pacotes (serviço datagrama), chamado protocolo de “melhor esforço”, pois procura encaminhar todos os pacotes através dos roteadores sempre da forma mais rápida, sem o uso “nativo” de mecanismos que tratem de forma diferente os pacotes que tenham exigências específicas de tratamento (FIALHO, 2004).

Existem duas abordagens genéricas na literatura para o provimento de QoS no encaminhamento de pacotes em redes de IP. A primeira, denominada serviços integrados (IntServ), é orientada a conexão, e nela existe um controle por fluxo dos dados que estão trafegando. Na segunda, denominada serviços diferenciados (DiffServ), o controle do tráfego não é feito por fluxo, mas sim por classe, ou agregado de fluxos.

Os serviços integrados são exemplificados pela arquitetura ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) (OTERO, 2004). Nesta arquitetura, cada fluxo de tráfego especifica os requisitos de QoS e caracteriza o tipo de tráfego, a partir disto se o fluxo passar pelo controle de admissão os pacotes serão aceitos e transportados. Mecanismos de policiamento são utilizados para garantir a conformidade do tráfego que está sendo gerado com o que foi admitido durante o estabelecimento da conexão. Procura-se garantir a manutenção da qualidade contratada, seja por limites determinísticos ou estatísticos.

Já para os serviços diferenciados existe a definição de classes de serviço, e cada pacote que trafega na rede é marcado de acordo com a classe a que pertence. A classe determina como o pacote será tratado através do uso de disciplinas de escalonamento, de forma a favorecer a transmissão de pacotes de classes prioritárias. Funções de policiamento também podem ser utilizadas para limitar o tráfego de cada classe de acordo com estatísticas

estabelecidas a partir da análise do próprio tráfego. Ações podem ser tomadas quando clientes estiverem gerando pacotes a taxas mais altas que as estabelecidas, como o descarte ou enfileiramento de parte dos pacotes gerados.

As técnicas utilizadas em ambas as abordagens são similares, variando apenas em relação a granularidade, ou seja, o tratamento por fluxo ou por agregado de fluxos de dados. Com a abordagem de serviços integrados é possível obter níveis de QoS por aplicação, o que é importante em redes multimídia devido às diferentes características de cada tipo de tráfego. No caso da diferenciação por agregado de fluxos (sem um controle de admissão, que seria feito por fluxo) existe a possibilidade de fluxos individuais como aplicações de vídeo e voz terem um retardo excessivo, assim como aplicações de dados apresentarem uma alta taxa de perdas, devido ao tráfego de cada classe estar muito alto (OTERO, 2004).

Capítulo 3

Automação Hospitalar

Automação é a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas para diminuir o uso de mão-de-obra em qualquer processo, especialmente o uso de robôs nas linhas de produção. A automação diminui os custos e aumenta a velocidade da produção (LACOMBE, 2004), podendo ser dividida em vários ramos, como por exemplo, industrial, comercial, residencial, hospitalar. Seu crescimento está ligado, em grande parte, ao avanço da microeletrônica, que tem proporcionado uma melhora expressiva no controle de processos, permitido sua otimização, tornando-os mais eficientes, do ponto de vista do aumento da produtividade e do custo-benefício.

Os hospitais vêm, ao longo do tempo, informatizando os seus processos. Para tanto, fazem uso de sistemas de informação que automatizam algumas tarefas pertinentes ao ambiente hospitalar. Muitos destes sistemas são, em sua grande maioria, dirigidos à gestão e, portanto buscam a redução dos custos e a otimização dos processos administrativos. Normalmente os hospitais fazem uso de alguns dos seguintes sistemas: prontuário eletrônico; marcação de consulta; controle de farmácia; internamento; laboratoriais; entre outros (VALENTIM, 2008).

A automação hospitalar é uma subárea da automação que visa promover a automatização dos processos oriundos do ambiente hospitalar, buscando eficiência e produtividade, apropriando-se de muitos conceitos da automação industrial (BROOKS & BROOKS, 1998). Todavia, alguns destes conceitos devem ser adequados à automação hospitalar, visto que os hospitais têm características e restrições imperativas ao ambiente médico. Por exemplo, a aquisição de dados deve ser provida de privacidade, a fim de garantir a ética do ato médico e preservar a integridade do paciente.

Permeando esse contexto, a área hospitalar passou também a incorporar conceitos aplicados na automação (BROOKS & BROOKS, 1998), buscando garantir o aprimoramento na execução de operações referentes a procedimentos médicos. Um forte exemplo desta tendência é o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao monitoramento de pacientes, as

quais, através da aquisição de dados, realizam operações de controle aplicadas ao monitoramento dos sinais vitais.

Neste contexto, com base em Nitzan & Rosen (1976), observa-se que os conceitos gerais da automação também permeiam a automação hospitalar. Efetivamente, a automação hospitalar, em relação à industrial, é uma área que ainda se encontra em processo de consolidação, apresentando uma carência significativa e uma vasta área de trabalhos a serem desenvolvidos. Neste sentido, aproveita-se de várias tecnologias emergentes, as quais oferecem subsídios sofisticados e eficientes na implementação de soluções orientadas à automação hospitalar, como por exemplo, uso de hardwares reconfiguráveis, CLPs (Controlador Lógico Programável) e outras para desenvolvimento de biodispositivos e biosensores.

Valentim (2008) divide a automação hospitalar sobre a perspectiva de redes em dois pontos:

- Rede de informação: é composta pelos sistemas de informação utilizados na área hospitalar (prontuário eletrônico, marcação de consultas, sistema de internamento, sistema de laboratório, outros). Neste tipo de rede as aplicações tem sua medida de desempenho apenas baseada no desempenho médio;
- Rede de controle: é composto pelos sistemas utilizados no monitoramento de pacientes. Neste tipo de rede são utilizadas aplicações mais rígidas quanto a questão temporal, pois não adianta apenas ter um bom desempenho médio, devem ter também uma baixa variação no atraso, ou seja, na rede de controle o *jitter* baixo é algo fundamental para garantir a qualidade das aplicações.

Diferente da automação industrial, onde as redes de sistemas e de controle são segmentadas através da utilização de tecnologias diferentes para cada tipo de rede, a automação hospitalar tende a utilizar a tecnologia Ethernet (SHIN et al., 2000), uma vez que este padrão é praticamente onipresente nos ambientes hospitalares. Essa característica é bastante positiva, pois facilita a integração, aumentando o fator de interoperabilidade entre os ativos de rede. Esses aspectos são alcançados devido ao baixo custo e ao alto espectro de penetração das redes Ethernet no mercado (BRITO et al., 2004).

Neste contexto, é importante destacar que as aplicações de Telemedicina e Telessaúde, por necessitarem em sua grande maioria de sistemas com baixa variação no atraso estão, portanto inseridas nas redes de controle.

3.1 Telemedicina e Telessaúde

Segundo Maheu et al. (2000), existem três categorias sobrepostas de assistência médica eletrônica: Telemedicina, Telessaúde e *e-health*. Telemedicina: a provisão de serviços de saúde, informações clínicas e educação a distância usando tecnologias de telecomunicações - existente antes da Internet. Alguns autores observam que a telemedicina era amplamente concebida antes mesmo de o termo ser usado no início da década de 70. Bashshur et al. (2000) destaca como primeiros relatos relacionados ao tema a transmissão de imagens radiográficas do *Hôtel-Dieu* de Montreal no ano de 1957, e em 1959 o uso de um Circuito Fechado de Televisão (CFTV) na condução de sessões de terapia entre o *Nebraska Psychiatric Institute* e o *Nor-folk State Hospital*, distantes 180 km. Podemos citar ainda como primeiros relatos documentados (MAHEU et al., 2000): educação e treinamento (1970), televisitas a comunidades de profissionais de saúde (1972), *home care* (1974), interações de enfermagem (1978), telemetria (1979), entre outras. Em muitos casos, não havia nenhum médico estava envolvido, e interatividade não era parte necessária.

A Telessaúde é vista por alguns autores como um termo mais abrangente do que a telemedicina, definida como restrita a teleconsultas interativas médico-paciente. Outras dimensões tem sido usadas para ilustrar diferenças entre os termos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS - <http://www.who.org>), Telessaúde pode ser entendida como a integração de sistemas de telecomunicações para a prática de proteger e promover a saúde, enquanto que a telemedicina é a incorporação destes sistemas na cura pela medicina. É notório que até o final da década de 90, o termo Telessaúde tornou-se popular e agora é usado por muitos como sinônimo de um termo mais antigo, telemedicina. Outros termos, como informática da saúde, telemática da saúde e *telecare* estão sendo propostos para a área. Em 1999, o termo *e-health* popularizou-se como a prestação de cuidados de saúde através da Internet (MCLENDON, 2000).

Embora o avanço das teleconsultas fosse realizado a preços muito altos, a demonstração de seus resultados abria um novo caminho para o atendimento médico de alta qualidade especializado, em tempo real, também para regiões remotas e rurais, onde a inexistência de especialistas impedia o diagnóstico preciso e a orientação no tratamento.

Alguns projetos de demonstração foram realizados ainda nas décadas de 60 e 70, comprovando a eficiência das tecnologias da telecomunicação no provimento de atendimento médico a pacientes em regiões remotas, próximas a desertos e geleiras. Países precursores

dessas iniciativas são os Estados Unidos, Canadá, Austrália e França. Hoje, todos os países desenvolvidos têm programas e orçamento para a prática da telemedicina.

De uma forma geral, podemos conceituar Telemedicina como sendo a transferência de dados médicos eletrônicos (imagens de alta resolução, som, vídeo ao vivo e dados de pacientes) de um local para outro, usando uma variedade de tecnologias da telecomunicação e aplicada por prestadores de serviços de saúde, em um número crescente de especialidades médicas: dermatologia, oncologia, radiologia, cirurgia, cardiologia, psiquiatria e atendimento domiciliar. Atualmente, quase todas as especialidades médicas têm demonstrado serem bem conduzidas pela prática da telemedicina, incluindo ainda: reabilitação, pediatria, obstétrica, ginecologia e neurologia. Além disso, muitos profissionais de saúde envolvidos em telemedicina vêm se tornando crescentemente criativos com a tecnologia disponível. E, a maioria dos profissionais de saúde serão afetados de uma maneira ou de outra pelo advento e crescimento do uso da Telemedicina no tratamento de saúde (RUTE, 2006).

3.1.1 Projeto RUTE

O Conselho Federal de Medicina (CFM) apresenta, na Resolução nº 1.643/2002, definições referentes à Telemedicina, a saber: Art. 1º – Definir a Telemedicina como o exercício da Medicina através da utilização de metodologias interativas de comunicação audiovisual e de dados, com o objetivo de assistência, educação e pesquisa em Saúde; Art. 2º – Os serviços prestados através da Telemedicina deverão ter a infraestrutura tecnológica apropriada pertinentes e obedecer as normas técnicas do CFM pertinentes à guarda, manuseio, transmissão de dados, confidencialidade, privacidade e garantia do sigilo profissional.

As redes de pesquisa, ensino e assistência formam-se a partir da infraestrutura de comunicação fornecida pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), instituição governamental vinculada aos Ministérios da Ciência e Tecnologia (MCT) e ao Ministério da Educação (MEC). Com base nessa infraestrutura, destacam-se dois projetos de abrangência nacional: 1) a Rede Universitária de Telemedicina, RUTE, que fornece a infraestrutura para os Hospitais Universitários e de Ensino; e 2) o Programa Nacional de Telessaúde Aplicado à Atenção Básica, que utiliza a RUTE e atende à população e aos profissionais do Programa de Saúde da Família nos municípios (MESSINA et al., 2008).

Destacam-se como serviços essenciais para uma rede universitária de telemedicina: a viabilização da infraestrutura de comunicação; a garantia da qualidade de serviço; o estímulo a pesquisas colaborativas, a existência de cursos de formação interinstitucionais e assistência

médica; o envolvimento do Governo, academia e empresa; o fornecimento de indicadores para a avaliação dos serviços e a estruturação dos grupos especiais de interesse nas especialidades da Saúde (MESSINA et al., 2008).

O Projeto Redecomep (Redes Comunitárias Metropolitanas de Ensino e Pesquisa) implanta infraestrutura de comunicação nas 27 capitais brasileiras por meio de seus PoPs (Pontos de Presença - www.redecomep.rnp.br). O objetivo do projeto é conectar todas as principais universidades públicas e centros de pesquisa no País, com fibra ótica gerenciada por um consórcio local formado por essas instituições e a RNP. A capacidade inicial disponível para os membros do consórcio é de 1 Gbps baseado na tecnologia de *Gigabit Ethernet*. A infraestrutura em cada hospital universitário participante da RUTE é composta de: conexão de 1 Gbps na Redecomep; Unidade de Telemedicina e Sala de videoconferência; permitindo assim teleconsultas, telediagnósticos, cursos em Telemedicina e Telessaúde e formação de grupos especiais de interesse.

Além dos benefícios resultantes do intercâmbio de conhecimentos médicos especializados, teleconferências, cursos de capacitação e formação continuada, discussão entre equipes médicas e pré-diagnósticos, prevê-se a melhoria no atendimento das populações das regiões mais carentes e sem atendimento médico especializado. Também é fato que regiões mais desenvolvidas dispõem hoje de centros médicos hospitalares em padrões de primeiro mundo com profissionais especializados nos diferentes campos da medicina. Neste contexto, o advento da telemedicina tem se mostrado uma forma de se estabelecer uma conexão entre os centros avançados e as regiões em demanda e carência (RUTE, 2006).

Essa conexão tornou-se viável e economicamente sustentável através das recentes Tecnologias da Informação e Comunicação, possibilitando à distância um trabalho preciso e colaborativo, facilitando o atendimento das populações nas regiões mais carentes e sem atendimento médico especializado.

No Estado do Rio Grande do Norte, fazem parte do projeto RUTE os seguintes hospitais pertencentes à UFRN:

- Hospital Universitário Ana Bezerra (HUAB), na cidade de Santa Cruz;
- Hospital de Pediatria (HOSPED), centro da cidade de Natal;
- Maternidade Escola Januário Cicco (MEJC), centro da cidade de Natal;
- Hospital Universitário Onofre Lopes (HUOL), centro da cidade de Natal.

Dos quatro hospitais citados anteriormente, apenas o HUAB não está conectado a Rede UFRN através de um enlace de 1 Gbps. Sua conexão é feita através de uma LP (linha

privada) exclusiva de 2 Mbps. As questões relacionadas às conexões de rede da UFRN serão abordadas na seção 4.1.

Por fim, constata-se que, a partir do uso da infraestrutura de telemedicina implantada, os profissionais de saúde envolvidos vêm se tornando crescentemente criativos na aplicação e no desenvolvimento de novas TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação) em Telessaúde, adequando-as às suas demandas. A maioria dos profissionais de saúde serão afetados pelo uso da Telessaúde na pesquisa, no ensino, na gestão, no diagnóstico e no tratamento de saúde. É importante ressaltar que a introdução de disciplinas de Informática em Saúde, Telemedicina, Telessaúde e Biotecnologia nas Faculdades de Saúde fortalecerá todo o sistema de saúde (MESSINA et al., 2008).

3.1.2 Estado da Arte

A Telemedicina e a Telessaúde recorrentemente tem se mostrado com um excelente instrumento de pesquisa, pois seus resultados tem aplicação direta para sociedade, especialmente para os usuários dos sistemas de saúde. Da mesma forma, pesquisas sobre QoS, ou que fazem uso de tal mecanismo, apresentam grande relevância devido à variedade de serviços (aplicações) que podem ser disponibilizados atualmente através de uma rede de computadores.

Neste contexto, Colombini et al. (2003) apresenta um breve relato sobre as tendências da Telemedicina no Brasil tendo como foco a QoS como um conjunto de requisitos através de mecanismos tais como o DWDM (*Dense Wevelength Division Multiplexing*) e o MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) de forma a contornar o problema de se ter uma QoS fim-a-fim, levando em consideração a infraestrutura WAN (*Wide Area Network*) da RNP. O trabalho apontava regiões cuja infraestrutura não estavam adequadas ao tipo de aplicação, tendo como principal fator o alto custo necessário a implementação de tais soluções.

Zvikhachevskaya et al. (2009) investiga a aplicabilidade do padrão IEEE 802.11 com suporte a QoS para serviços de *e-health* e telemedicina em redes sem fio. Neste caso, além da necessidade do provisionamento de QoS, devido os rigorosos requisitos e a natureza de tempo real das aplicações médicas (tais como o monitoramento remoto de pacientes), deve-se também levar em consideração a questão do suporte a mobilidade. O estudo apresenta novos cenários de arquitetura para provisionamento de QoS em telemedicina de emergência e faz uso de simulações para obter os resultados de avaliação de desempenho.

Malindi (2011) apresenta um estudo de QoS em Telemedicina tendo como enfoque links bidirecionais E1 (2 Mbps), devido sua larga utilização para interconectar zonas rurais da África. Para tanto, foram usadas simulações para a avaliação de desempenho utilizando apenas DiffServ, e uma outra fazendo uso deste juntamente com o MPLS em uma rede multisserviço (tráfego envolve dados, voz e vídeo) baseada em IP. Na simulação de dados foram criados fluxos através dos protocolos telnet e FTP (*File Transfer Protocol*). Na simulação de voz foi usado o codec de áudio G.711 à uma taxa constante de 64 kbps e na de vídeo o encoder H.264 à uma taxa de 600 kbps. Parâmetros como o atraso e o *jitter* foram usados para se determinar o método mais adequado ao tráfego em tempo real em um ambiente de serviços diferenciados.

Apesar dos estudos citados anteriormente relacionarem Qualidade de Serviço a aplicações em Telemedicina e Telessaúde, observa-se que não existe uma preocupação em se avaliar a utilização da rede de forma a se mensurar o impacto que este tipo de aplicação recebe quando o tráfego gerado por outras aplicações (que não apresentam, por exemplo, restrições relacionadas ao *jitter* e à largura de banda) aumenta. Existem ainda outras pesquisas que procuram resolver os problemas relacionados à transmissão na própria aplicação. É o caso de Faria et al. (2002), que propõe um sistema (e-Cath) que busca viabilizar a Telemedicina em centros de hemodinâmica a custos factíveis, através de conexões convencionais à Internet (que não são adequadas à aplicações de tempo real), possibilitando uma segunda opinião médica à distância. Para tanto, sua implementação utiliza técnicas de compressão de vídeo, análise e realce de imagens radiológicas, sincronia e controle de seções entre os participantes. O objetivo é o de se transmitir vídeo e imagens médicas a taxas razoáveis, sem a necessidade de linhas de transmissão de alta capacidade ou com elevada QoS. É importante observar que a solução é aplicada a conexões com restrições em termos de largura de banda, o que implica na redução na qualidade dos vídeos e imagens. Além disso, como não há nenhum tipo de priorização de tráfego, a utilização de outras aplicações em paralelo podem comprometer o desempenho do sistema como um todo.

Por último, vale salientar que grande parte das pesquisas relacionadas as áreas de Telemedicina e Telessaúde destacam a relevância do tema para área de Saúde, apresentando os benefícios do uso da tecnologia desenvolvida no contexto médico, sem considerar aspectos mais técnicos, tais como desempenho e qualidade do serviço. Neste contexto, reforça-se, portanto, a necessidade de trabalhos que realizem análises de desempenho a fim de aferir o comportamento dessas aplicações quando submetida a um tráfego mais intenso na rede de

comunicação, tendo em vista que os sistemas de Telemedicina e Telessaúde devem conviver de forma harmônica com as demais aplicações.

Capítulo 4

Análise de Desempenho na Rede de Saúde da UFRN

Conforme apresentado no Capítulo 1 (em especial, na seção 1.1), as metas deste trabalho estão relacionadas à análise de desempenho da rede metropolitana de Saúde da UFRN, onde foi realizada a comparação do tráfego com e sem a utilização de políticas de QoS. Para tanto, é necessário conhecermos a topologia da Rede da UFRN. Assim, na seção seguinte (4.1) será apresentada a situação atual desta rede em termos de estrutura física, tecnologias utilizadas e serviços oferecidos. O capítulo apresenta ainda a especificação dos experimentos realizados (seção 4.2) e os resultados obtidos (seção 4.3).

4.1 A Rede UFRN

Com o intuito de integrar seus diversos segmentos (ensino, pesquisa e extensão), a Universidade Federal do Rio Grande do Norte disponibiliza à sua comunidade (professores, funcionários e alunos), uma infraestrutura de rede de computadores, denominada Rede UFRN. São vários os serviços associados a esta rede: correio eletrônico, portais institucionais e pessoais, transferência de arquivos, além dos sistemas de informação corporativos e de um provedor *Internet*.

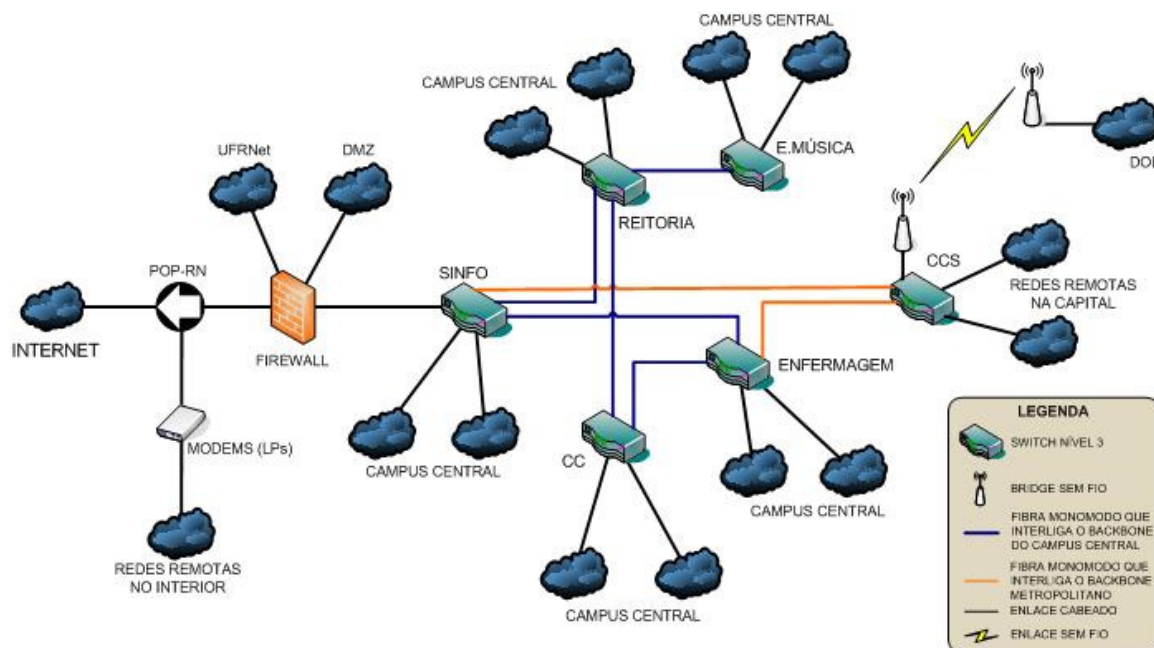
A Rede UFRN surgiu em 1994 com uma rede que interligava 12 pontos com enlaces de fibra ótica e algo em torno de 24 equipamentos interligados, entre roteadores e servidores (SOUZA & ROCHA NETO, 1999).

Ao longo de seus 17 anos de existência, esta rede tem passado por diversas alterações, além de um crescimento acentuado. Atualmente, estima-se que a rede interna conecte mais de 8000 computadores, através do uso de cabos de par-trançado. Para a interligação dos ativos é usado, além do par-trançado, a fibra ótica, em especial no núcleo da Rede (*backbone*). Além destes dois meios físicos, a Universidade também dispõe de pontos de acesso sem fio, de forma a atender, em especial, dispositivos móveis como *notebooks* e PDAs (*Personal Digital Assistants*). Na camada de enlace (RM-OSI), é feito uso, principalmente, da “família”

Ethernet, desde o padrão de 10 Mbps (compatibilidade com *hardware* mais antigo), até o 10 Gigabit Ethernet, usado no *backbone* da rede.

A Rede UFRN dispõe também de toda uma infraestrutura de um provedor de Internet, chamado UFRNet, para acesso residencial de sua comunidade, o qual pode ser discado ou via cabo de TV.

Figura 4.1 – Diagrama geral da rede UFRN



Por ser geograficamente distribuída, a rede UFRN é formada por diversos segmentos de rede (sub-redes IP), que são determinadas de acordo com a sua localização física, com o órgão ao qual estão diretamente subordinados e com o tipo de utilização da rede (acadêmica ou administrativa). A Figura 4.1 ilustra de uma forma geral a interligação da rede entre as diversas unidades da UFRN. Nela, podemos observar:

- **Campus Central:** local que concentra a grande maioria das sub-redes e equipamentos, tais como servidores, *firewall*, roteadores e toda a estrutura do provedor UFRNet. É também onde está situado a maior parte do *backbone* principal², abrigando quatro dos cinco *switches* 3Com 5500 (3COM, 2007) que trabalham no quarto nível do RM-OSI e estão interconectados a 10 Gbps. Estes equipamentos são responsáveis pelo roteamento das 102 sub-redes existentes atualmente em toda a UFRN, e estão fisicamente localizados nos prédios da

² Atualmente também é chamado de *backbone* metropolitano por interligar o Campus Central (Zona Sul) ao Campus Biomédico (Centro da Cidade).

Superintendência de Informática (SInfo), Reitoria, Centro de Convivência (CC) e Departamento de Enfermagem. Todas as sub-redes do Campus Central estão direta ou indiretamente ligadas a um dos quatro pontos do *backbone* principal, geralmente por meio de fibra óptica e usando o *Gigabit Ethernet*. A partir do *backbone* principal, tem-se uma topologia em estrela para a interligação dos demais prédios do Campus Central. Nas redes internas, a ligação é feita em cabos de par trançado, fazendo uso do *Fast Ethernet*.

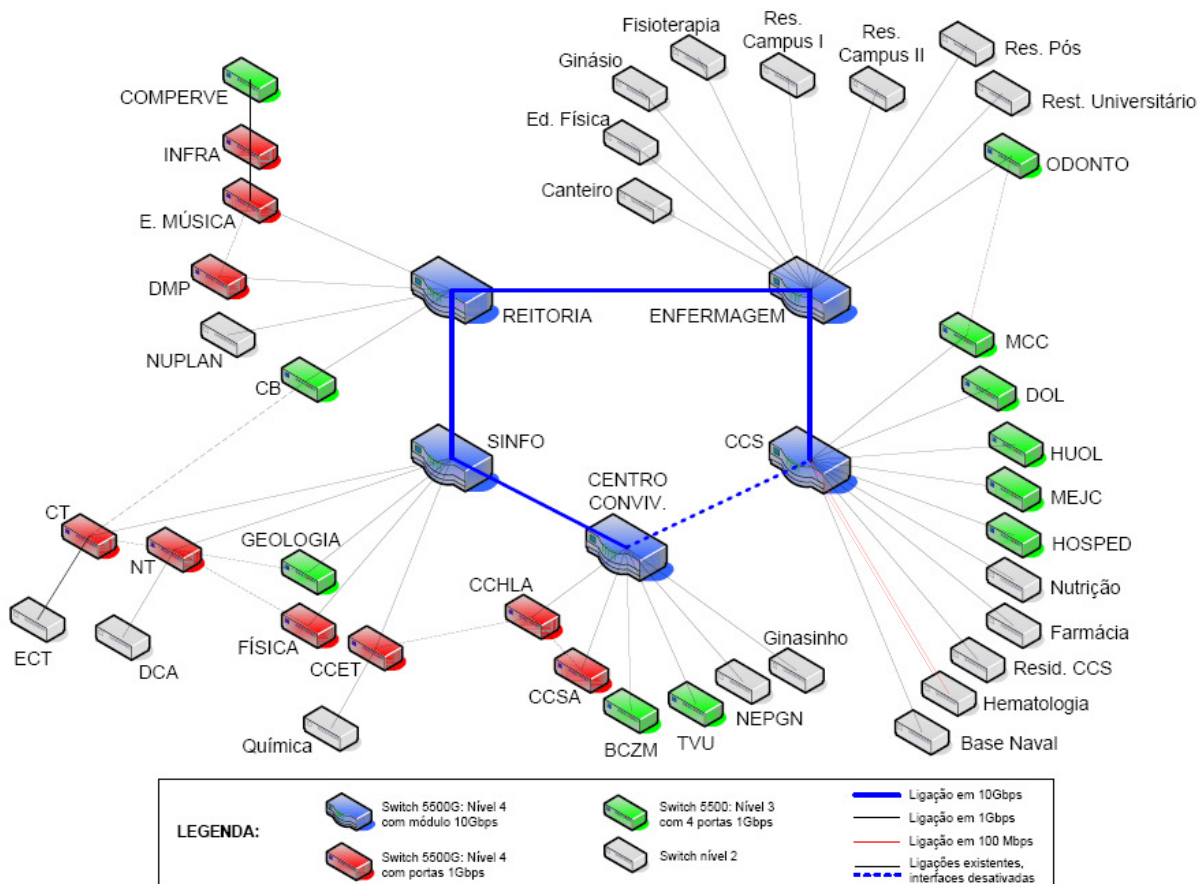
- **Unidades Remotas em Natal:** tem como ponto principal o Centro de Ciências da Saúde (CCS), que, juntamente com o *backbone* do Campus Central, formam o *backbone* metropolitano, acomodando o quinto *switch* de nível 4. Outras duas unidades remotas estão interconectadas ao *backbone* metropolitano a 1 Gbps: a Faculdade de Odontologia, o Museu Câmara Cascudo e o DOL (Departamento de Oceanografia e Limnologia).
- **Unidades Remotas no interior:** constituída pelos Campi de Caicó, Currais Novos, Santa Cruz e a Escola Agrícola de Jundiaí (EAJ). A interconexão das 3 primeiras ao Campus Central é feita através do uso de linhas privadas (LPs) contratadas à Embratel, sendo uma para cada interior. Já a conexão da EAJ é feita através de um enlace sem fio (100 Mbps) entre a torre da TV Universitária (bairro de Morro Branco) e uma torre instalada exclusivamente com esta finalidade na EAJ, situada no município de Macaíba.

A divisão da Rede UFRN em sub-redes é feita utilizando-se a tecnologia de redes virtuais, conhecidas por VLANs (*Virtual LANs*) e especificadas pelo padrão IEEE 802.1Q (IEEE 802.1Q, 1998). Sua utilização no *backbone* metropolitano possibilita a divisão da rede como um todo em diversos segmentos logicamente isolados. Cada VLAN deve ter identificador (VLAN ID) associado a apenas uma interface de rede. Uma interface é determinada pelo endereço IP da rede, máscara e o endereço IP do roteador para esta interface, que corresponde a uma sub-rede. Este protocolo permite ainda que partes de uma rede estejam fisicamente em locais diferentes. Isto torna possível, por exemplo, que eu tenha uma máquina no CCS, e esta pertença à mesma rede (mesmo domínio de *broadcast*) de máquinas que estejam fisicamente na Reitoria. Ou seja, a comunicação ocorre sem que haja o roteamento na camada de rede.

Complementando as informações acima, a Figura 4.2 apresenta a topologia da Rede UFRN na cidade de Natal (composta pelo Campus Central, além das unidades remotas de Natal), ilustrando como os *switches* estão interconectados através de enlaces de fibra óptica.

Na parte central do diagrama (destacado em azul), temos o núcleo principal da rede (*backbone*), onde a conexão é a 10 Gbps. As demais ligações em fibra, são atualmente a 1 Gbps, com exceção do Núcleo de Hematologia (*link* a 100 Mbps representado em vermelho).

Figura 4.2 – Topologia da Rede UFRN



4.2 Projeto Experimental

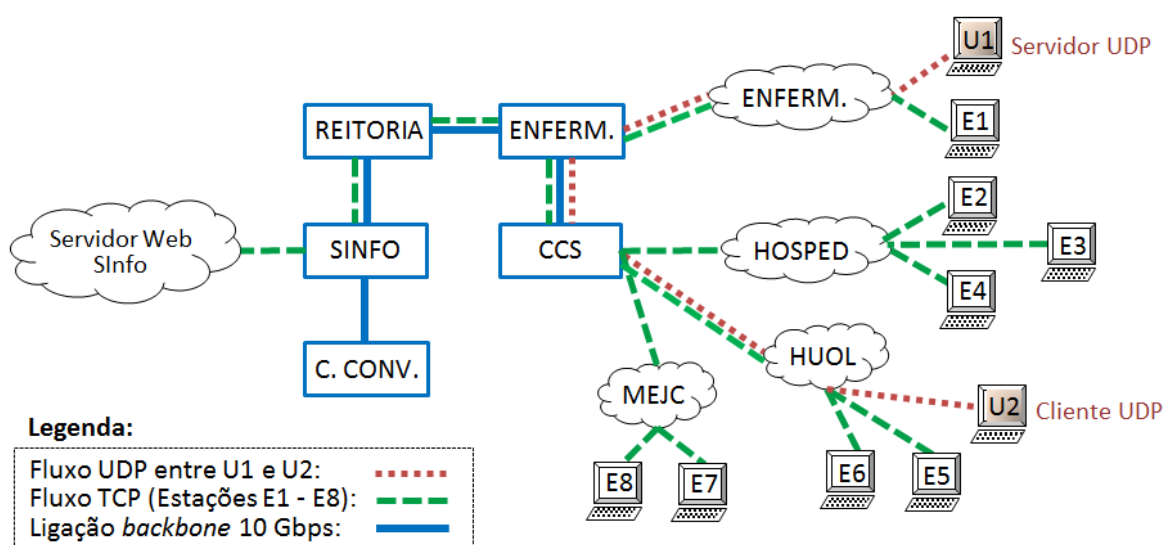
Os experimentos feitos na Rede de Saúde da UFRN tinham por finalidade:

- Testar o desempenho de fluxos concorrentes UDP, referente a aplicações de Telemedicina e Telessaúde; e TCP, referente a outros tipos de aplicação, sendo nos experimentos, representado pelo HTTP (responsável pela geração de tráfego) para a atual situação da Rede, ou seja, sem políticas de QoS (resultados apresentados na subseção 4.2.1);
- Testar o desempenho de fluxos concorrentes UDP e TCP, após a aplicação de políticas de QoS nos ativos da Rede (resultados apresentados na subseção 4.2.2).

Para tanto, foram utilizados 10 computadores (ilustrados na Figura 4.3) da marca Dell, modelo Optiplex 780, que apresentam a seguinte configuração de *hardware*: processador Intel Core 2 Duo com 3 GHz em cada núcleo; memória RAM de 4 GB; disco rígido com

capacidade de 500 GB e interface de rede Gigabit Ethernet. Dentre estas estações, oito (E1 até E8) eram usadas para gerar tráfego na rede através de requisições HTTP simultâneas a um servidor web localizado na SInfo. Paralelamente, as outras duas restantes geravam o fluxo UDP referente às aplicações de Telemedicina e Telessaúde: U1 (fazia o papel do servidor conectado à sub-rede da Enfermagem) e U2 (cliente conectado à rede do HUOL). É importante ressaltar que, apesar do *backbone* operar a 10 Gbps, as demais ligações ilustradas na Figura 4.3 utilizam o *Gigabit Ethernet*, como já havia sido exposto na seção 4.1.

Figura 4.3 – Ambiente experimental para análise de desempenho



Para cada um dos experimentos (com e sem QoS), foi usada a seguinte metodologia:

1. **Geração de tráfego web:** cada uma das oito máquinas (M1 até M8) executava o *JMeter*³ simulando 100 clientes enviando requisições pelo método POST. As respostas do servidor web localizado na SInfo eram de um arquivo de 1000 bytes. Os testes sem QoS foram divididos em três cenários, com duração de uma hora cada, variando de acordo com a quantidade de máquinas usadas para gerar as requisições: no 1º foram usadas 2; no 2º foram 4; e no 3º foram usadas todas as 8 máquinas posicionadas em diferentes localidades da UFRN (mostradas na Figura 4.3) pertencentes à Rede da Saúde. A mesma metodologia foi usada nos testes com QoS. Como comentado na seção 1.2, este fluxo é um complemento ao tráfego atual de cada uma das redes, de forma que possamos medir o impacto de uma aplicação sobre a outra;

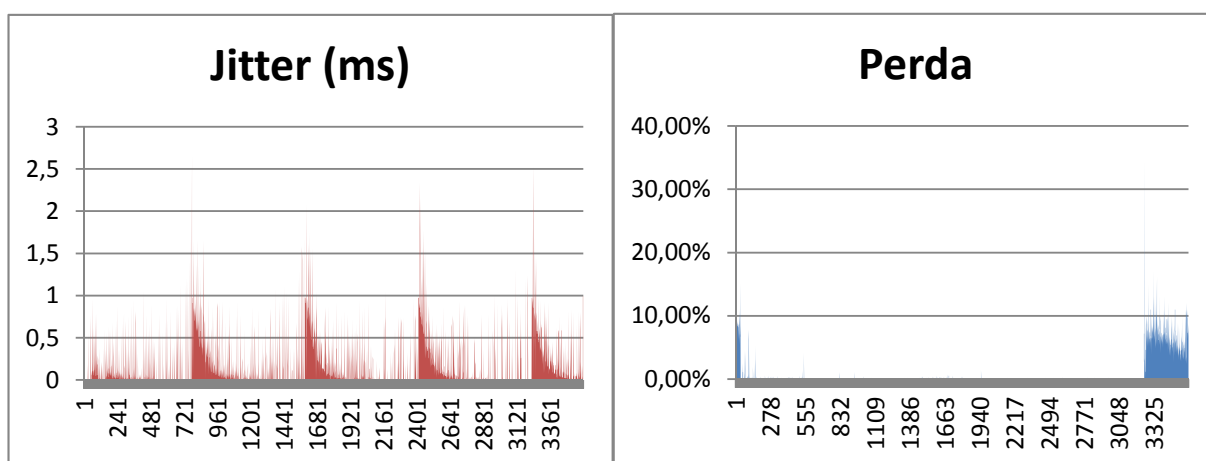
³ Apache JMeter é uma aplicação *open source* escrita em Java e projetada para testes de comportamento e desempenho, originalmente projetado para testes em servidores web (JMETER, 2011).

2. **Geração de tráfego UDP:** para simular a aplicação de Telemedicina e Telessaúde, foram configuradas duas máquinas fazendo uso do JPerf⁴: U1 e U2. Foi configurado um fluxo de 100 Mbps que concorria com o tráfego TCP gerado pelas requisições ao servidor web, durante o mesmo período de 1 hora. A própria aplicação gerava as estatísticas sobre o fluxo, cujos resultados serão apresentados em gráficos nas subseções 4.2.1 e 4.2.2, e seu comparativo na seção 4.3;
3. **Monitoramento do tráfego gerado:** no momento dos experimentos é perceptível o aumento na utilização da rede. O Apêndice A mostra os gráficos obtidos através de consultas SNMP feitas pelo Zabbix⁵ aos *switches* do *backbone* (SInfo, Reitoria, Enfermagem e CCS) envolvidos nos testes.

4.2.1 Testes sem QoS

Ao gerar o fluxo UDP (simula a aplicação de Telemedicina), o JPerf gera também algumas estatísticas, tais como *jitter* (em milissegundos), *throughput* (Kbps), perda de dados (porcentagem). As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 mostram os gráficos do *jitter* e da perda em função do tempo (em segundos) para cada um dos três cenários: duas, quatro e oito máquinas (respectivamente) gerando as requisições HTTP (tráfego TCP).

Figura 4.4 – *Jitter* e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 2 máquinas, sem QoS na rede



⁴ JPerf é um framework simples para escrita e execução automática de testes de performance e escalabilidade (JPERF, 2011). Software gratuito escrito em Java, roda em cima do Iperf (IPERF, 2011).

⁵ Zabbix é um software *open source* usado para monitorar diversos parâmetros de uma rede como a integridade e desempenho dos servidores, com interface de configuração e monitoramento baseada na web (ZABBIX, 2011).

Figura 4.5 – *Jitter* e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 4 máquinas, sem QoS na rede

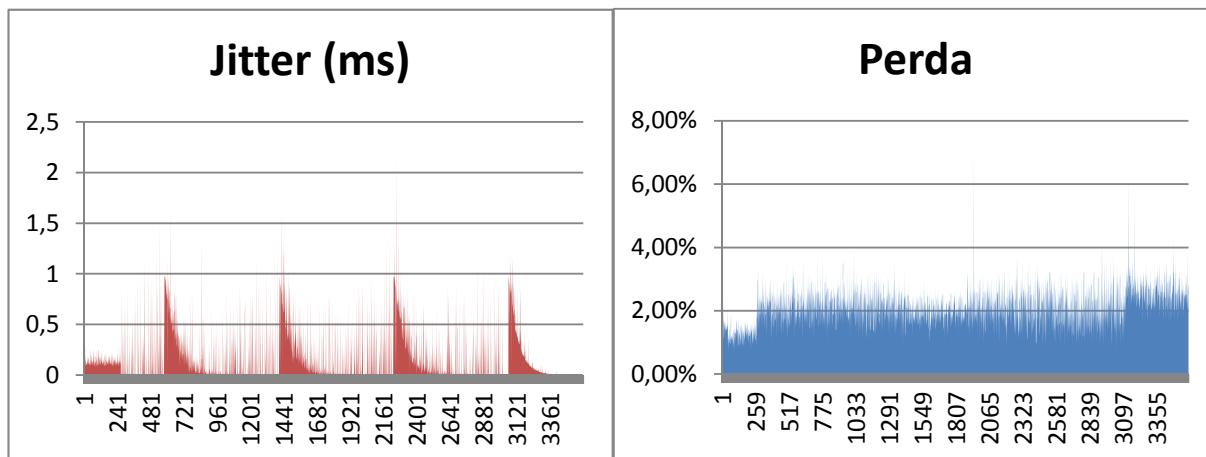
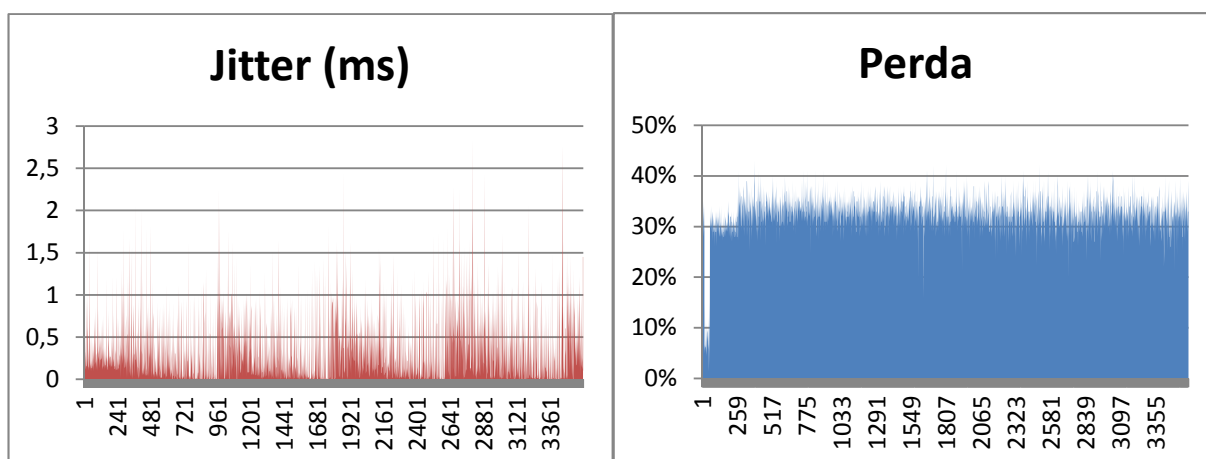


Figura 4.6 – *Jitter* e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 8 máquinas, sem QoS na rede



Na Figura 4.4, é importante observar uma perda de aproximadamente 10% dos pacotes no primeiro e nos últimos minutos de transmissão. Este comportamento pode ter sido causado por algum fluxo na própria Rede UFRN, visto que os testes foram feitos nos equipamentos que encontram-se em produção. No cenário com quatro máquinas, a perda ficou em torno de 2% (Figura 4.5), e para o caso de oito, a perda foi de aproximadamente 30% (Figura 4.6).

4.2.2 Testes com QoS

O intuito de realizar esses testes foi o de verificar e prover prioridade no encaminhamento dos pacotes que correspondem à aplicação de Telemedicina e Telessaúde (fluxo UDP), e comparar os resultados com os dos testes sem QoS. Neste contexto, de forma a implementar uma política de prioridade (QoS) foi criada uma VLAN, chamada TELEMED,

com identificador 999 (VLAN ID). Neste caso, todos os dados cujo VLAN ID é igual 999 ganharam maior prioridade em relação às demais. Ou seja, internamente o *switch* divide o seu *buffer* em duas filas: uma para os quadros provenientes da VLAN 999 (Dados de Telemedicina ou de Telessaúde), que serão encaminhados mais rapidamente que os quadros pertencente às demais VLANs (que estão na outra fila). Na política tradicional usada pelo protocolo Ethernet, chamada “melhor esforço” (*best effort*), é mantida apenas uma fila no *buffer* onde os quadros são encaminhados na ordem de chegada - FIFO (*First In, First Out*). É importante destacar que com o uso de QoS por VLAN, o método FIFO continua a ser usado, porém, aplicado a filas distintas, qual a fila de Telemedicina e Telessaúde tem maior prioridade em relação as demais.

As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 mostram o *jitter* (em milissegundos) e a porcentagem da perda de dados para o fluxo UDP entre as máquinas U1 e U2, que concorre com os fluxos gerados pelas requisições HTTP de duas, quatro e oito máquinas, respectivamente.

Figura 4.7 – *Jitter* e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 2 máquinas, com QoS na rede

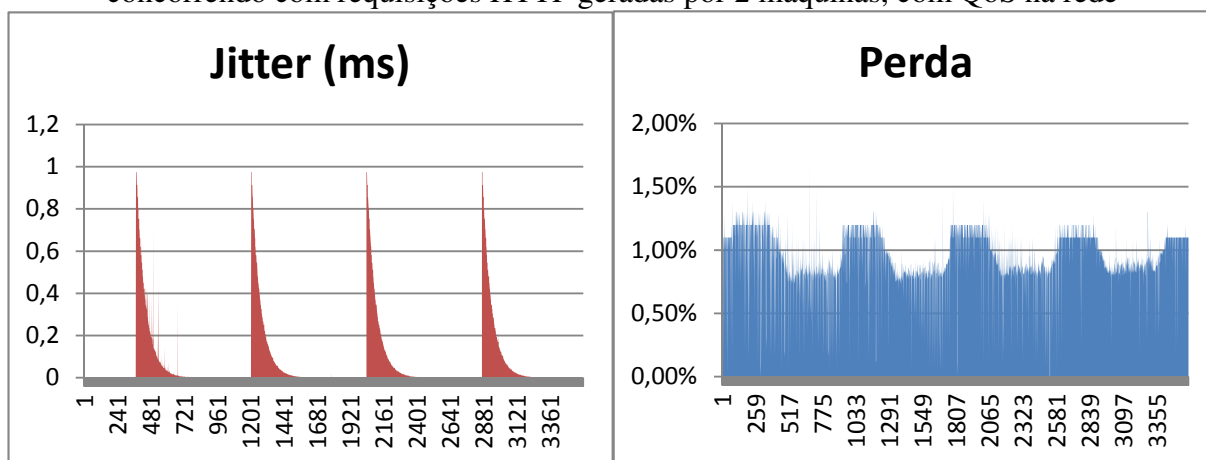


Figura 4.8 – *Jitter* e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 4 máquinas, com QoS na rede

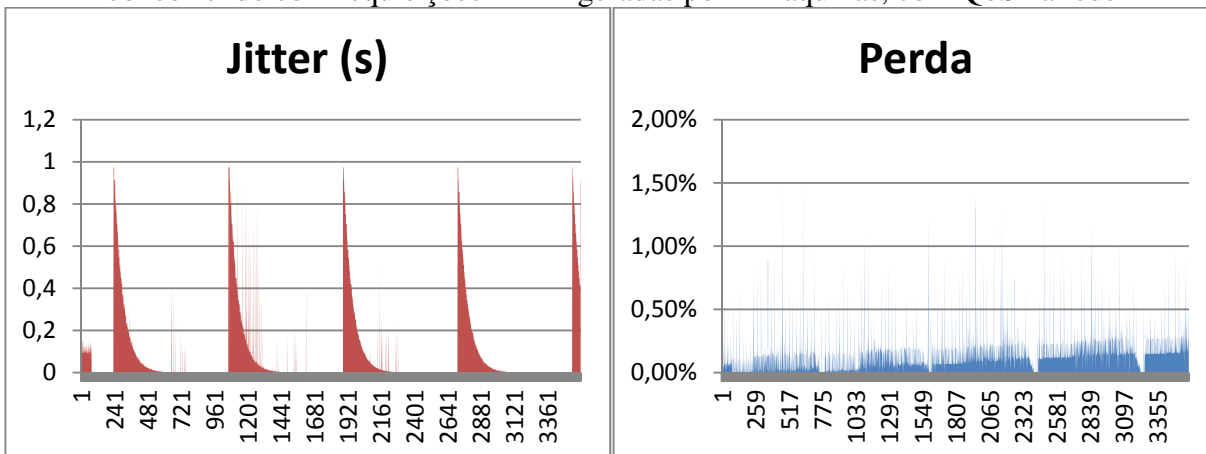
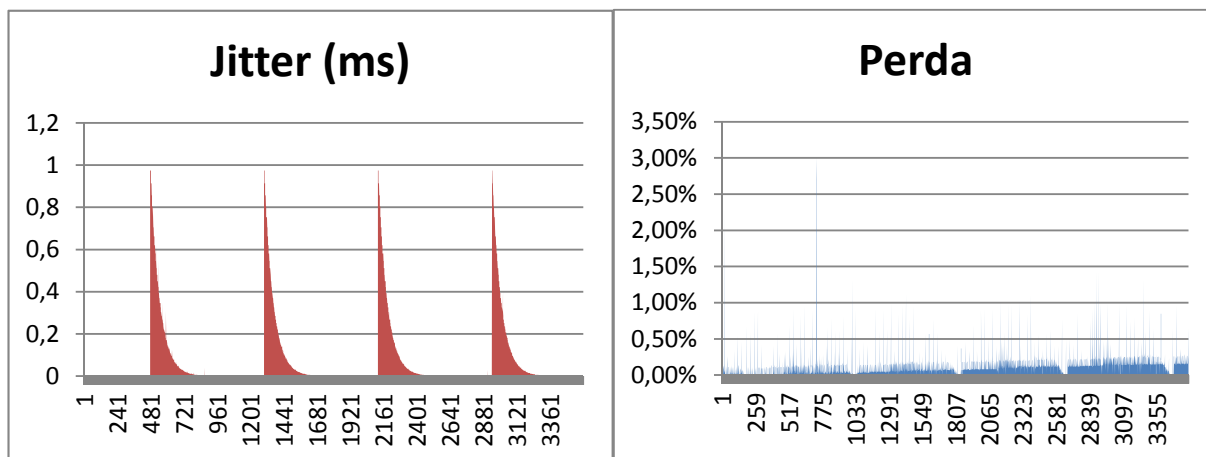


Figura 4.9 – *Jitter* e perda de dados em função do tempo (em segundos) do fluxo UDP concorrendo com requisições HTTP geradas por 8 máquinas, com QoS na rede



É importante observarmos nos gráficos das Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, que o *jitter* mantém um comportamento semelhante, mesmo quando a rede é submetida a diferentes tipos de carga. Em relação à perda de dados, também não foram apresentadas grandes alterações de um cenário para outro, nem as perdas máximas ficaram tão distantes da média.

4.3 Análise comparativa dos resultados

Analisando os gráficos dos experimentos apresentados na subseção 4.2.1, podemos observar que, sem QoS, à medida que aumentamos a carga das requisições HTTP na rede, torna-se maior também o *jitter* e, principalmente, a perda de dados para a aplicação de Telemedicina e Telessaúde, demonstrando, portanto, que aumentou o grau de imprevisibilidade da rede. Ao realizar os mesmos procedimentos após a utilização das políticas de QoS (subseção 4.2.2) na rede, percebe-se uma significativa redução na porcentagem de perda de pacotes média e máxima, além do *jitter*, demonstrando portanto que as políticas de QoS aplicadas melhoraram a previsibilidade da rede. Tais aspectos são fundamentais para aplicações em Telemedicina e Telessaúde, uma vez que a rede mesmo quando submetida a um maior tráfego mantém um comportamento mais homogêneo, ou seja, mais constante.

A Tabela 4.1 explicita o comparativo entre os dois experimentos, resumindo os principais dados estatísticos obtidos dos gráficos das seções anteriores, como: média e máximo, tanto para a perda de dados como para o *jitter* (para os três tipos de carga usada).

Tabela 4.1 – Comparativo entre os resultados com e sem QoS

Quantidade de máquinas com requisições HTTP		Perda de dados (%)		Jitter (ms)	
		Média	Máximo	Média	Máximo
Duas	Sem QoS	0,79%	34,00%	0,176	2,636
	Com QoS	0,94%	1,70%	0,075	0,975
Quatro	Sem QoS	2,08%	7,20%	0,162	2,158
	Com QoS	0,14%	1,60%	0,092	0,975
Oito	Sem QoS	32,53%	43,00%	0,325	2,819
	Com QoS	0,12%	3,00%	0,073	0,975

Comparando os resultados da Tabela 4.1 para os experimentos com duas, quatro e oito máquinas, respectivamente, observa-se uma perda de dados com médias de 0,79, 2,08 e 32,53% e picos de 34, 7,2 e 43% nos experimentos sem QoS. Com a utilização de QoS, obtêm-se médias de 0,94, 0,14 e 0,12% e picos de 1,7, 1,6 e 3%. Percebe-se uma redução expressiva nos resultados com QoS, em especial, nos picos para cargas mais elevadas e também um comportamento mais constante da rede de Telemedicina e Telessaúde.

Já para o *jitter*, as médias foram de 0,176, 0,162 e 0,325 e os picos de 2,636, 2,158 e 2,819 milissegundos sem QoS; e médias de 0,075, 0,092 e 0,073 e picos de 0,975, 0,975 e 0,975 milissegundos com QoS. Neste último caso, destaca-se a proximidade entre os resultados obtidos para os três cenários, variando de 0,075, a 0,092 milissegundos no caso da média, e mantendo-se em 0,975 milissegundos no caso do maior valor. Este é um fato de suma importância, levando-se em consideração o bom funcionamento de aplicações de Telemedicina e Telessaúde, ou seja, a depreciação do serviço não compromete a qualidade das aplicações, isso em função da política de QoS utilizada.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

O objeto de estudo deste trabalho de dissertação permitiu a análise do comportamento de aplicações em Telemedicina e Telessaúde ao concorrer com outros tipos de aplicações sobre tecnologias Ethernet em seu funcionamento padrão, e quando aplicadas à políticas de QoS. Vale salientar que esse tipo de aplicação normalmente faz bastante uso de largura de banda, além de ser muito susceptível à variação do atraso (*jitter*).

Um aspecto substancial desta pesquisa, que pôde ser verificada através dos resultados obtidos, foi que o uso das políticas de QoS por VLAN reduziram, de forma considerável, a perda de pacotes, além de manter o *jitter* mais baixo e constante para os casos de pequeno, médio e alto fluxo de dados na rede, ou seja, a rede Telemedicina e Telessaúde passou a ter um comportamento mais previsível.

Além disso, outras metas foram alcançadas durante a realização do trabalho como um todo, tais como:

- Estudo do tráfego atual da rede da UFRN, onde pôde ser observado um aumento em sua utilização, seja pelo aumento na rede, como pela demanda de novas aplicações e sistemas;
- Mapeamento das redes de Saúde da UFRN;
- Definição dos casos de testes para realizar a análise de desempenho do objeto da dissertação;
- Definição e aplicação de uma política de QoS para a rede metropolitana da UFRN, de forma a garantir a qualidade das aplicações de Telemedicina e Telessaúde fim-a-fim;
- Realização da análise comparativa dos resultados obtidos após a realização dos casos de testes.

5.1 Trabalhos Futuros

Como possibilidade futura, e complementar ao trabalho desenvolvido e apresentado nesta dissertação, fica o estudo em *switches* Ethernet para a atribuição dinâmica de prioridade às VLANs, usando como critério, a identificação da aplicação. Neste caso, teremos uma questão importante relacionada à segurança, que seria impedir que uma aplicação de menor prioridade se passe por uma outra de maior prioridade. Uma forma de tentar minimizar este ponto seria a utilização de protocolos de autenticação, atualmente fortemente representada pelo IEEE 802.1X, que comumente faz uso de uma base de dados RADIUS.

Utilizando ainda a infraestrutura disponível na UFRN, podem ser feitos outros estudos práticos com foco em Telemedicina e QoS. Um deles é a aplicação de políticas de QoS nos *links* que interligam os Campi de Santa Cruz, Currais Novos e Caicó ao Campus Central. Tais ligações são feitas atualmente através de linhas privadas (LPs) contratadas a uma empresa de serviços de telecomunicações. Vale salientar que o Hospital Ana Bezerra, localizado no Campus Santa Cruz, utiliza duas LPs: uma para o *link* de dados, e uma segunda LP, exclusiva para conectar um equipamento de vídeo conferência, por onde trafegam as aplicações de Telemedicina e Telessaúde. Um dos pontos a ser avaliado é a real necessidade de duas LPs (visto a despesa mensal gerada por sua locação), antes e após a utilização de tais políticas, além da otimização no uso das aplicações sobre os *links* dos Campi.

Um segundo estudo prático tem como foco a análise de desempenho de aplicações de tempo real sobre a rede sem fio (IEEE 802.11g) existente e em produção na UFRN. Além deste tipo de rede ser não-determinística, apresenta velocidades mais baixas (normalmente 54 Mbps) em um meio compartilhado, e ainda deve prover suporte a mobilidade.

Referências Bibliográficas

- BASHSHUR R. L.; REARDON T. G.; SHANNON G.W. *Telemedicine: a new health care delivery system*. Annu Rev Public Health. Vol. 21: p. 613-637, 2000
- BRITO, A. E. M. et al. *Comunicação Ethernet em Tempo-Real para uma Rede de Microcontroladores*, Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2004) – Gramado, 2004.
- BROOKS, J.; BROOKS, L. *Automation in the medical field*. Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE Volume 17, Issue 4, Page(s):76 - 81. July-Aug, 1998.
- COLOMBINI, Angelo Cesar; TRAINA, Antonio Fernando; CAZARINI, Edson Walmir. *Telemedicina no Brasil Possibilidades e Tendências*. Conferência IADIS Ibero-Americana WWW/Internet 2003. Vol. Single: p. 285-288, 2003. Disponível em <http://www.iadis.net/dl/final_uploads/200303P054.pdf>
- FARIA, B.M.; OLIVEIRA, R.A.R.; ARAÚJO, A. de A.; FARIA, J.A. *e-Cath: Um sistema de telemedicina utilizando redes de baixa velocidade*. Proceedings of the VIII Brazilian Symposium on Multimedia and Hypermedia Systems - SBMIDIA, Tools and Applications Workshop, Fortaleza-CE, Brazil, 2002, p. 387-390. Disponível em <<http://laplace.dcc.ufmg.br/npdi/uploads/c0a80a68-1798-a7c3.pdf>>
- FIALHO, Sérgio Vianna, *Tópicos em Engenharia de Computação: Qualidade de Serviços em Redes TCP/IP*. Anotações da disciplina “Arquiteturas para Comunicação Multimídia” do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – UFRN, 2004.
- IEEE 802.1Q. *IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Draft Standard for Virtual Bridged Local Area Networks*, P802.1Q, January 1998.
- IPERF <<http://iperf.sourceforge.net>>. Acesso em: 14 fev. 2011.
- JMETER <<http://jakarta.apache.org/jmeter>>. Acesso em: 14 fev. 2011.
- JPERF <<http://sourceforge.net/projects/jperf>>. Acesso em: 14 fev. 2011.

- LACOMBE, Francisco José. *Dicionário de Administração*. São Paulo: Saraiva, 2004.
- MAHEU, Marlene M.; WHITTEN, Pamela; ALLEN, Ace. *E-health, telehealth, and telemedicine: A guide to start-up and success*, 2000.
- MALINDI, Phumzile. *QoS in Telemedicine*. Croatia: InTech Open Access Publisher, 2011. 514 p. (Telemedicine Techniques and Applications, 5). Bibliografia: p. 119-138.- ISBN 978-953-307-354-5. Disponível em:
<http://www.intechopen.com/source/pdfs/16878/InTech-Qos_in_telemedicine.pdf>
- MARTINS, Joberto Sérgio Barbosa, *Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP: Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos*. Grupo de Redes de Computadores - UNIFACS-BA, 2000.
- MESSINA, Luiz Ary et al. *Telemedicina e Telessaúde - A Construção de Redes Colaborativas de Ensino, Pesquisa e Assistência ao Diagnóstico e ao Tratamento em Saúde no Brasil*. Revista Informática Pública, p. 97-104, Belo Horizonte, 2008. Disponível em:
<http://www.ip.pbh.gov.br/ANO10_N2_PDF/telemedicina_tesesaude_dossie.pdf>
- MCLENDON, K. *E-commerce and HIM: Ready or not, here it comes*. Journal of the American Health Information Management Association, 71(1), p. 22-23, 2000.
- NITZAN, D.; ROSEN, C. A. *Programmable Industrial Automation*. Transactions on Computers. Volume C-25, Issue 12, p. 1259 – 1270, 1976.
- OTERO, Daniel Cavas. *Alternativas para Diferenciação de Serviços em Redes Locais sem Fio*. UFRJ, 2004. Disponível em:
<<http://www.ravel.ufrj.br/index.php?pag=producao&tipo=tese>>
- RUTE - Rede Universitária de Telemedicina, Apresentação do Projeto, 2006. Disponível em:
<<http://www.cudi.edu.mx/salud2/fp7/RUTE.pdf>>
- SOARES, Luiz Fernando; COLCHER, Sérgio e SOUZA, Guido Lemos, *Redes de Computadores: Das LANs, MANs e WANS às redes ATM*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- SOUZA, Galileu Batista de, e ROCHA NETO, Aluízio Ferreira da, *A Nova Rede UFRN*, 1999.
- SHIN, H.; SUH, Y.; KWON, D. *Multicast routing protocol by multicast agent in mobile networks*. Parallel Processing, 2000. Proceedings. 2000 International Conference on 21-24 Aug. 2000, p. 271-278.

TANENBAUM, Andrew S. *Redes de Computadores*. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

VALENTIM, R. A. M. *Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar sobre Multicast com IEEE 802.3 utilizando IGMP Snooping*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008.

ZABBIX <<http://www.zabbix.com>>. Acesso em: 10 abr. 2011.

ZVIKHACHEVSKAYA, Anna; MARKARIAN, Garik; MIHAYLOVA, Lyudmila. *Quality of Service consideration for the wireless telemedicine and e-health services*. IEEE Wireless Communications and Conference Networking 2009, p. 1-6.

3COM, *3Com® Switch 5500 Family Configuration Guide*. Marlborough, USA, 2007.

Apêndice A

Gráficos do tráfego gerado durante os experimentos

Figura A.1 – Tráfego no switch da SInfo - Testes sem QoS

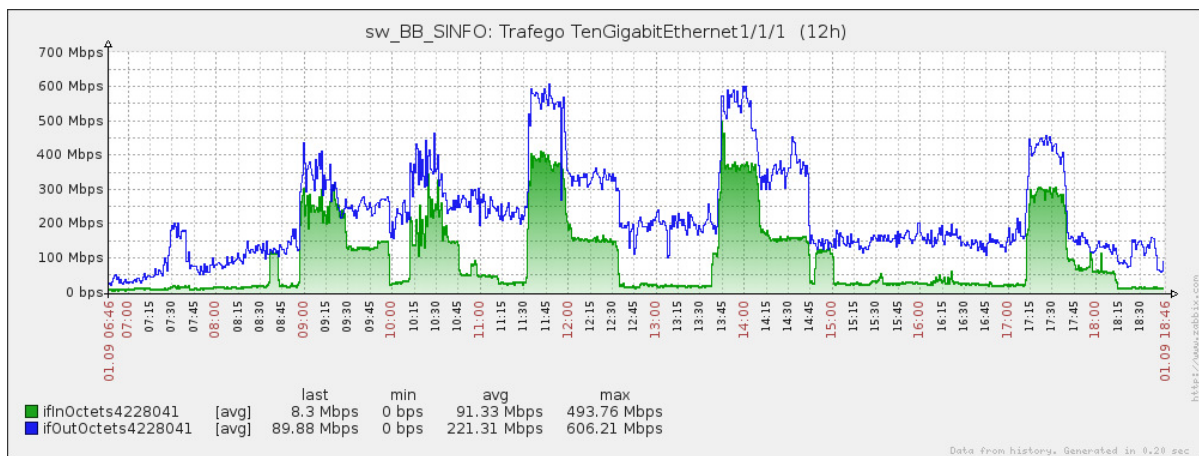


Figura A.2 – Tráfego no switch da Reitoria - Testes sem QoS

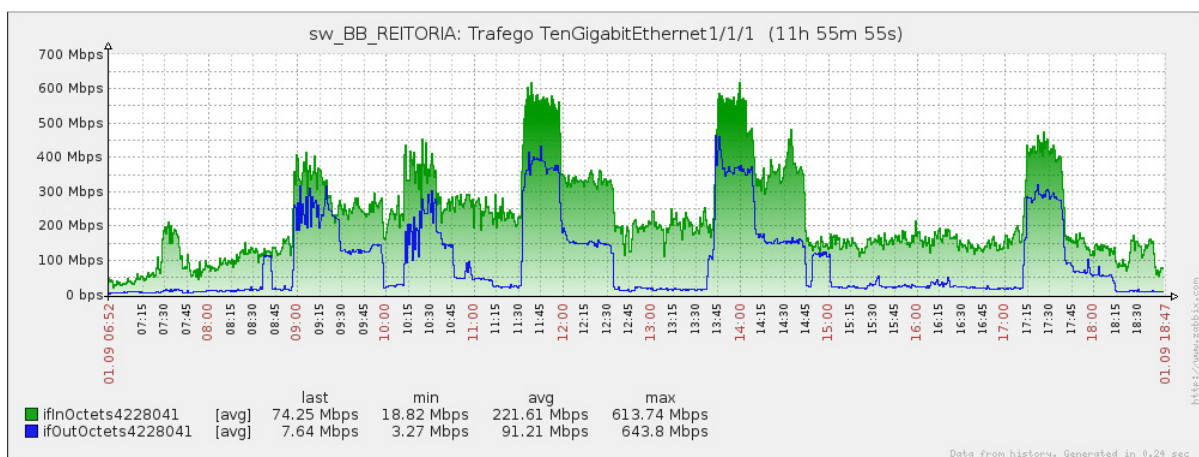


Figura A.3 – Tráfego no switch da Enfermagem - Testes sem QoS

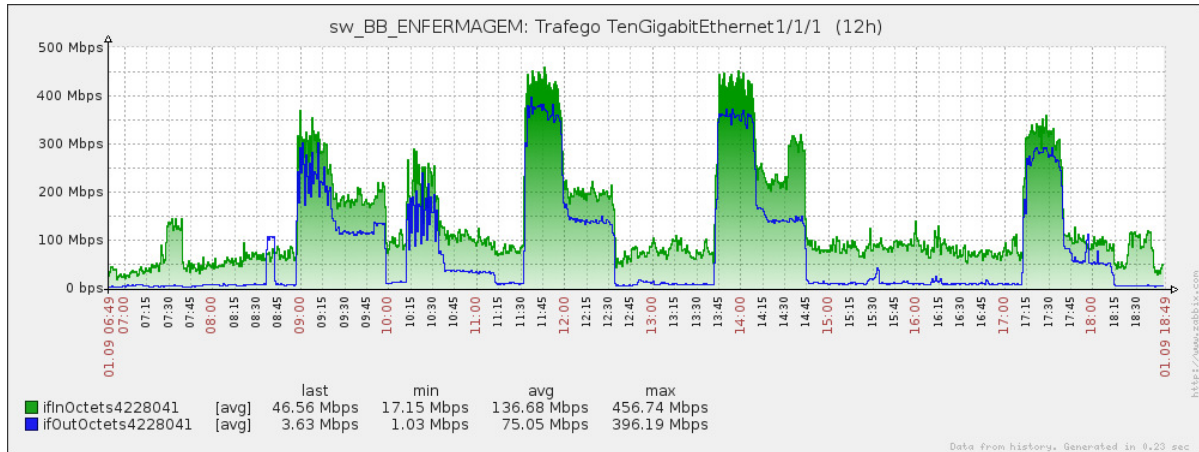


Figura A.4 – Tráfego no switch do CCS - Testes sem QoS

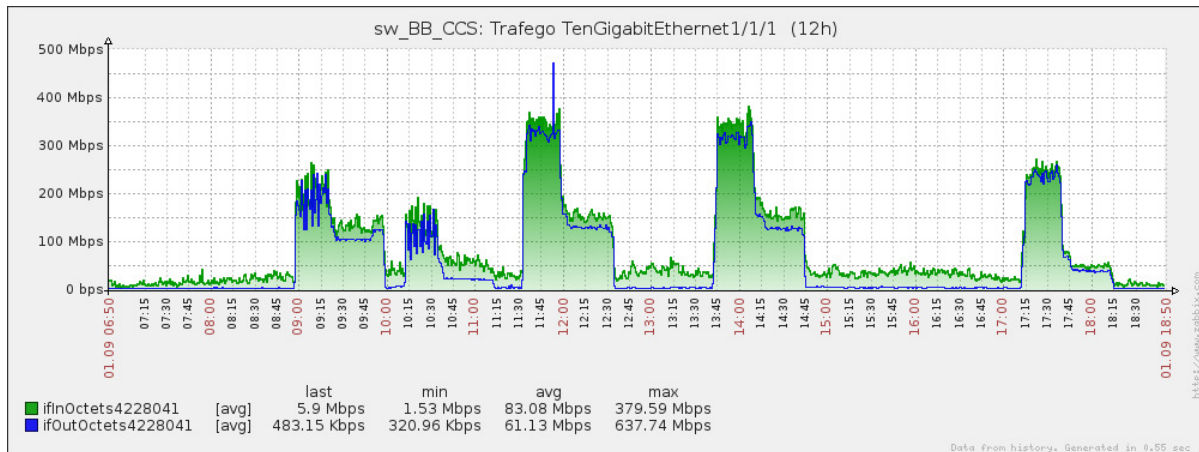


Figura A.5 – Tráfego no switch da SInfo - Testes com QoS

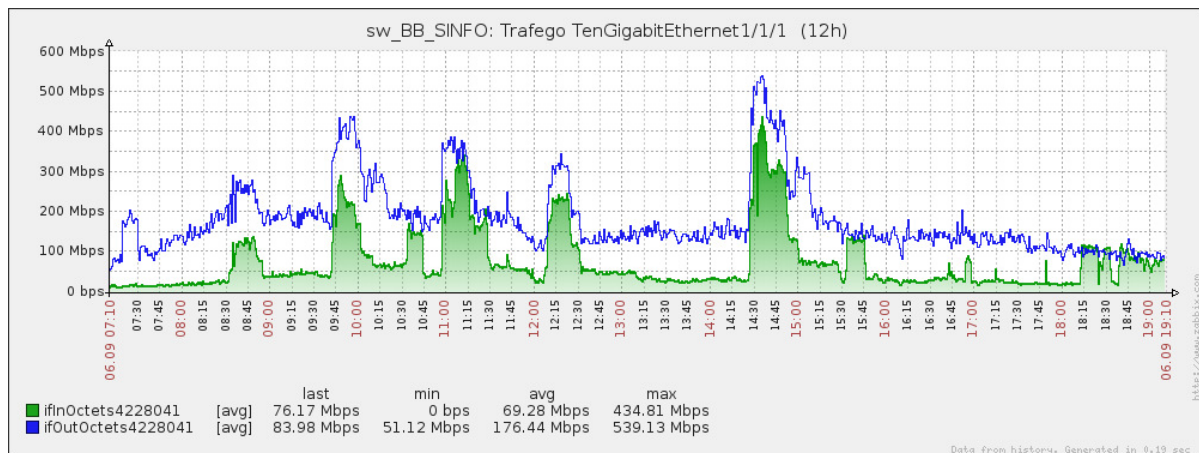


Figura A.6 – Tráfego no switch da Reitoria - Testes com QoS

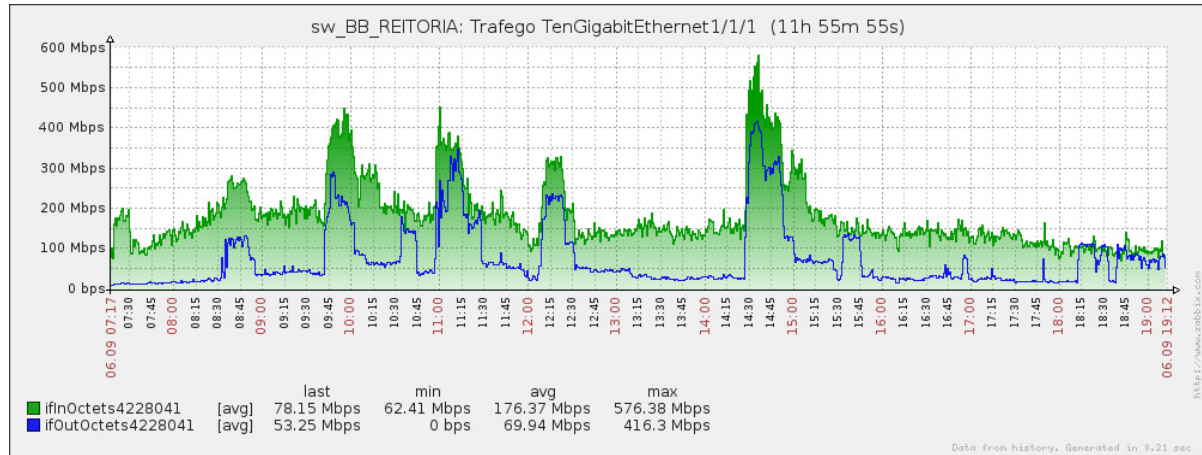


Figura A.7 – Tráfego no switch da Enfermagem - Testes com QoS

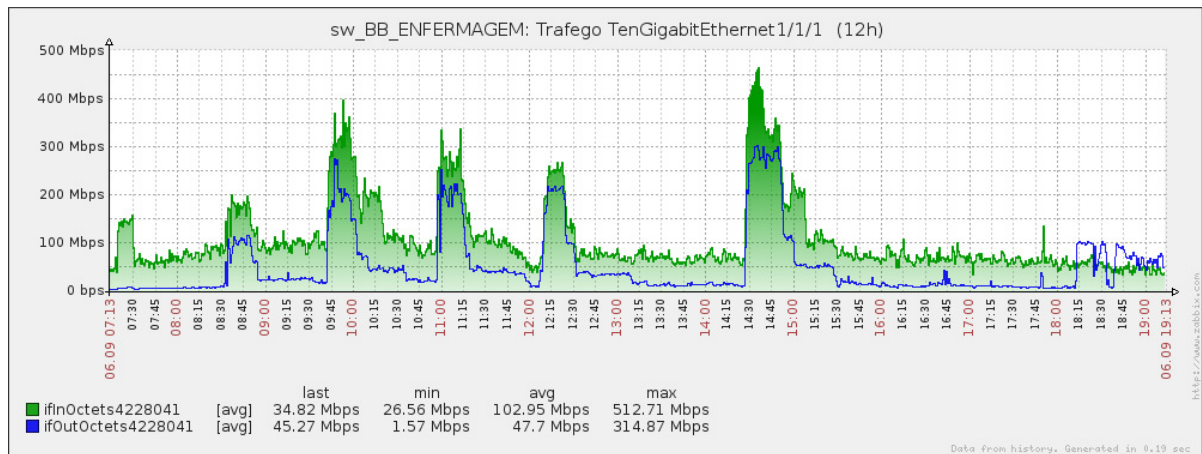


Figura A.8 – Tráfego no switch do CCS - Testes com QoS

